# Ficha Técnica 2
# Introdução à Eletrónica

**Paulo Peixoto**
ATEC – Academia de Formação
paulo.peixoto@atec.pt

## 4. Análise de circuitos em Corrente Contínua

Dependendo do objetivo pretendido, os circuitos elétricos podem assumir diversas tipologias, nomeadamente, circuitos em série, circuitos em paralelo ou circuitos mistos (série e paralelo). As caraterísticas associadas a cada circuito serão analisadas detalhadamente nos pontos que se seguirão.

### 4.1. Circuitos série

Num circuito série a corrente elétrica, movimento dos eletrões, tem apenas um caminho para percorrer. Assim, todos os elementos do circuito serão percorridos pelo mesmo valor desta grandeza. A Figura 25 apresenta um circuito série utilizado para acender um díodo emissor de luz (LED) e que é percorrido pela intensidade de corrente elétrica de 20 mA.
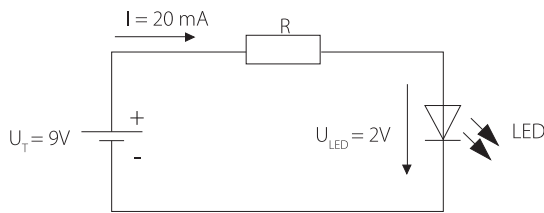
**Figura 25.** Circuito série composto por uma resistência e um LED.

A Figura 26 é composta por uma fonte de tensão e 3 resistências ligadas em série. Serão analisadas as seguintes grandezas: resistência equivalente, tensão e intensidade da corrente elétrica.
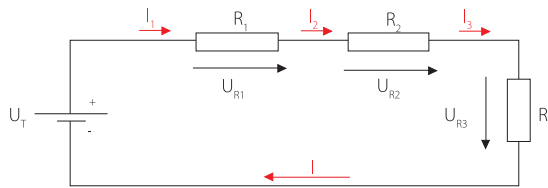
**Figura 26.** Circuito série.

1. A resistência equivalente será dada pela **soma das várias resistências** que formam o circuito:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

2. Como referido anteriormente, a **corrente elétrica só terá um caminho para percorrer**, logo será sempre a mesma ao longo de todo o circuito. Esta grandeza é **constante num circuito série.**

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

3. A d.d.p. ou **tensão divide-se pelas resistências $R_1$, $R_2$ e $R_3$**, e assim a tensão total será a soma da tensão nas várias resistências existentes no circuito. A maior resistência irá reter a maior tensão e, por conseguinte, a menor resistência a menor tensão.

$$U_T = U_R + U_R + U_R$$

#### 4.1.1 Circuitos série – Divisor de tensão

Um caso particular do circuito série é o circuito divisor de tensão. A aplicação da expressão matemática que o carateriza facilita o cálculo da queda de tensão nas resistências do divisor de tensão.
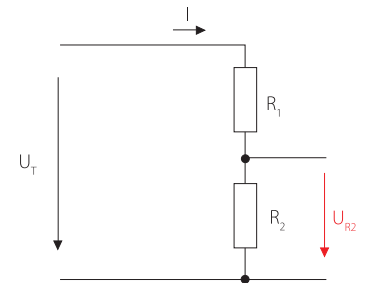
**Figura 27.** Divisor de tensão.

Assim para calcular a tensão na resistência $R_2$ teremos:

$$U_{R2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_T$$

A tensão $U_{R2}$ é proporcional à tensão $U_T$. O fator de proporcionalidade é dado pelo quociente entre a resistência $R_2$ e a resistência total do circuito ($R_1 + R_2$).

### 4.2. Circuito paralelo

Num circuito paralelo a corrente elétrica percorre o circuito por diferentes caminhos ou ramos disponíveis. Teremos, para uma mesma diferença de potencial, uma corrente elétrica que depende do elemento resistivo integrado nesse ramo.

Analisando o circuito paralelo representado na Figura 28 teremos:
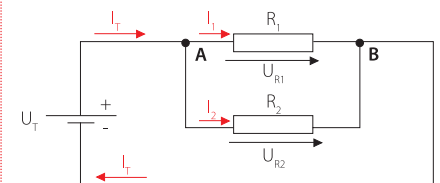
**Figura 28.** Circuito paralelo.

1. A **resistência equivalente será menor que a menor das resistências integradas** no circuito e dada pela expressão:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

Para circuitos que sejam constituídos apenas por 2 resistências poder-se-á utilizar a seguinte expressão matemática:

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

2. A corrente elétrica apresenta 2 ramos por onde seguir, através da resistência $R_1$ ou através da resistência $R_2$. **A intensidade total será a soma da intensidade de corrente que irá percorrer a resistência $R_1$ e a intensidade de corrente que irá percorrer a resistência $R_2$.** Pela maior resistência passará a menor intensidade de corrente elétrica pois oferece uma maior barreira à sua passagem, e pela menor resistência passará, por análoga análise, a maior intensidade de corrente elétrica.

$$I_T = I_1 + I_2$$

3. Nos circuitos paralelos existem sempre dois pontos comuns, identificados na Figura 28 como A e B, logo a **tensão que chegará a cada resistência será sempre a mesma**. Esta grandeza é **constante num circuito paralelo.**

$$U_T = U_1 = U_2$$

### 4.2.1 Circuito paralelo – Divisor de corrente

Considerando que a corrente elétrica se divide num circuito paralelo, podemos particularizar o circuito divisor de corrente.
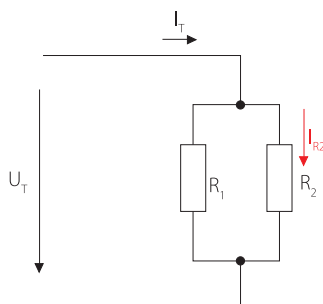
**Figura 29.** Divisor de corrente.

A corrente $I_2$ é proporcional à tensão $I_T$. O fator de proporcionalidade é dado pelo quociente entre a resistência oposta à pretendida $R_1$ e a resistência total do circuito ($R_1 + R_2$). Para calcular a corrente na resistência $R_2$ utilizamos a fórmula do divisor de corrente:

$$I_{R2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I_T$$

## 4.3. Circuito misto (série + paralelo)

A maioria dos circuitos são compostos por circuitos série e paralelo. Para a sua análise será necessário aplicar os conceitos associados a cada tipologia de circuito. A Figura 30 apresenta um circuito misto.
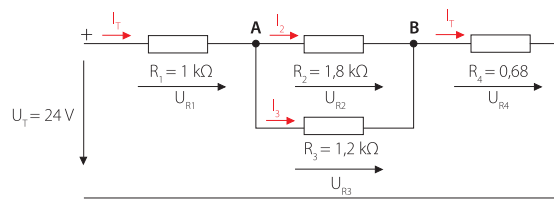
**Figura 30.** Circuito misto (série + paralelo).

Será apresentada, de seguida, uma abordagem para o cálculo das grandezas principais de um circuito misto.

1. Cálculo da resistência equivalente do circuito.
   1. A primeira associação a realizar é a composta pelas duas resistências em paralelo ($R_2$ e $R_3$). O circuito resultante é apresenta na Figura 31.

$$R_{2,3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} \leftrightarrow R_{2,3} = \frac{1{,}8 \cdot 1{,}2}{1{,}8 + 1{,}2} \leftrightarrow R_{2,3} = 0{,}72\ k\Omega = 720\ \Omega$$
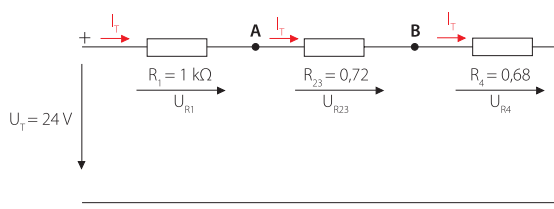
**Figura 31.** Circuito misto (série + paralelo).

   2. A resistência equivalente ou total do circuito representado será:

$$R_T = R_1 + R_3 + R_4 \leftrightarrow R_T = 1 + 0{,}72 + 0{,}68 \leftrightarrow R_T = 2{,}4\ k\Omega$$

2. Cálculo da intensidade total disponível no circuito:

$$I = \frac{U}{R_T} \leftrightarrow I = \frac{24}{2{,}4 \times 10^3} \leftrightarrow I = 10\ mA$$

3. Cálculo da tensão aos terminais de cada resistência:

$$U_{R1} = R_1 \cdot I = 1 \times 10^3 \cdot 10 \times 10^{-3} = 10\ V$$
$$U_{R23} = R_{23} \cdot I = 0{,}72 \times 10^3 \cdot 10 \times 10^{-3} = 7{,}2\ V$$
$$U_{R4} = R_4 \cdot I = 0{,}68 \times 10^3 \cdot 10 \times 10^{-3} = 6{,}8\ V$$

A tensão $U_{R4}$ poderá ser calculada através da diferença entre a tensão da fonte de alimentação e das quedas de tensão nas resistências $R_1$ e $R_{23}$:

$$U_{R4} = U_T - U_{R1} - U_{R23} = 24 - 10 - 7,2 = 6,8\ V$$

4. Cálculo da corrente que percorre cada uma das resistências do circuito paralelo, $I_2$ e $I_3$.

$$I_2 = \frac{U_{R23}}{R_2} \leftrightarrow I_2 = \frac{7,2}{1800} \leftrightarrow I_2 = 4\ mA$$

$$I_3 = \frac{U_{R23}}{R_3} \leftrightarrow I_3 = \frac{7,2}{1200} \leftrightarrow I_2 = 6\ mA$$

A soma das correntes calculadas resulta como esperado no valor da corrente total que circula no circuito, 10 mA.

## 5. Análise de redes elétricas — Leis de Kirchhoff

Os circuitos analisados no ponto anterior apresentam uma configuração geral simples, compostos apenas por uma fonte de alimentação de energia. Existem, no entanto, circuitos complexos que utilizam várias fontes de energia, quer sejam fonte de tensão ou fontes de corrente, e que requerem a introdução das Leis de Kirchhoff[1] para a sua análise.

### 5.1. Conceito de nó, ramo e malha

Os circuitos elétricos podem ser definidos como dispositivos que permitem um ou vários percursos fechados para a passagem da corrente elétrica constituindo, assim, uma rede elétrica.

Esta rede elétrica apresenta **pontos em que se encontram três ou mais condutores** que assumem a designação de **nós ou nodos**. O trajeto compreendido entre **dois nós é denominado de ramos**. O nó é, assim, um ponto do circuito em que se encontram três ou mais ramos, cada um percorrido pela sua corrente elétrica. Ao **conjunto de ramos,** que descrevem um percurso fechado, dá-se o nome de **malha**.

A Figura 32 representa uma rede elétrica onde podemos identificar os nós, A e E, os ramos, BAFE, BE e BCDE, e as malhas ABEFA, BCDEB e ABCDEFA.

[1] Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) é um físico alemão, autor de importantes trabalhos no campo dos circuitos elétricos e na espectroscopia.
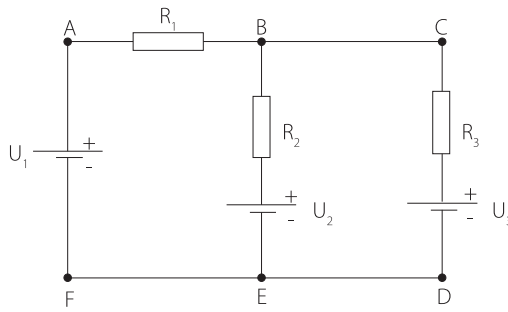
**Figura 32.** Rede elétrica.

### 5.2. Leis de Kirchhoff

Através das Leis de Kirchhooff é possível calcular as correntes disponíveis nos ramos de um circuito. Cada ramo terá a sua corrente própria. Existem duas Leis fundamentais a considerar:

#### 1.º Lei de Kirchhoff - Lei dos nós ou Lei das correntes

A primeira Lei de Kirchhoff é designada por Lei dos nós ou Lei das correntes e aplica-se aos nós da rede elétrica. Pode ser enunciada da seguinte forma: **a soma das correntes que se aproximam de um nó é igual à soma das correntes que se afastam desse mesmo nó.**

#### 2.º Lei de Kirchhoff - Lei das malhas ou Lei das tensões

A segunda Lei de Kirchhoff é designada por Lei das malhas ou Lei das tensões e vê a sua aplicação centrada nas malhas do circuito. É enunciada da seguinte forma: **a soma algébrica das tensões ao longo de uma malha é nula.**

### 5.3. Aplicação das Leis de Kirchhoff

Para iniciar a análise completa da rede elétrica dever-se-á seguir os seguintes passos:

1. Definir, arbitrariamente, para cada ramo, o sentido positivo de corrente e identificá-lo com uma seta;
2. Definir, arbitrariamente, um sentido positivo de circulação ao longo de cada malha. Se as tensões tiverem o mesmo sentido da circulação serão positivas, caso contrário serão negativas;
3. Para que as equações obtidas sejam realmente independentes devem escrever-se:
   a. Pela **Lei dos nós** tantas equações como o número de nós menos um;
   b. Pela **Lei das malhas** tantas equações como o número de ramos sem fonte de corrente, menos o número de equações escritas pela Lei dos nós;
   c. Teremos, assim, tantas equações quantas as correntes não determinadas. Uma malha deve incluir, pelo menos, um ramo não incluído anteriormente noutra malha.

A Figura 33 representa a rede elétrica em análise na Figura 32 com a aplicação das indicações anteriores.
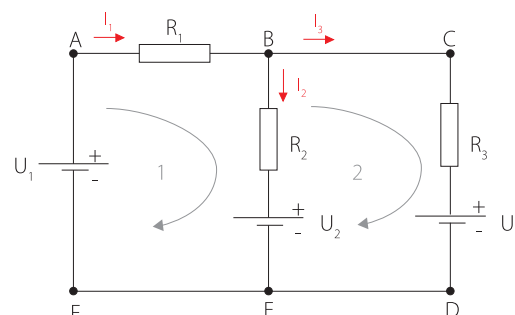
**Figura 33.** Rede elétrica para aplicação das Leis de Kirchhoff.

A equação dos nós, aplicada ao nó B, apresenta a seguinte configuração: $I_1 = I_2 + I_3$

Para o circuito em análise serão necessárias duas equações das malhas para obtermos um sistema de equações que permite o cálculo das 3 correntes disponíveis no circuito. Foram definidas as malhas ABEFA e BCDEB.

Na malha 1, e iniciando o percurso no ponto A com o sentido dos ponteiros do relógio, passamos pelas resistência $R_1$ no sentido da corrente elétrica, logo a tensão assume um valor positivo, de seguida passamos na resistência $R_2$ também no sentido da corrente que percorre o ramo $I_2$, segue-se a fonte de tensão $U_2$, no sentido do terminal positivo para o negativo, logo sentido positivo e, finalmente, voltamos ao ponto de partida, ponto A, passando pela fonte de tensão $U_1$, no sentido do terminal negativo para o positivo, logo sentido negativo. Transcrevendo esta descrição para a equação das malhas teremos:

$$U_{R1} + U_{R2} + U_2 - U_1 = 0$$

Aplicando um raciocínio idêntico para a malha 2 teremos (partida do ponto B):

$$U_{R3} + U_3 - U_2 - U_{R2} = 0$$

O sistema de equações com 3 expressões e 3 incógnitas é apresentado de seguida:

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ U_{R1} + U_{R2} + U_2 - U_1 = 0 \\ U_{R3} + U_3 - U_2 - U_{R2} = 0 \end{cases}$$

Para uma clara identificação das incógnitas, as correntes $I_1$, $I_2$ e $I_3$, e por aplicação da Lei de Ohm, teremos:

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2 + U_2 - U_1 = 0 \\ R_3 \cdot I_3 + U_3 - U_2 - R_2 \cdot I_2 = 0 \end{cases}$$

Após a resolução do sistema de equações serão obtidas as correntes em cada ramo da rede elétrica. Caso a corrente assuma um valor negativo significa que o real sentido da corrente é o contrário ao definido inicialmente.